

**Vergleichende Messungen
des Sauerstoffverbrauches an drei verschiedenen
Systemen der Ergospirometrie und damit
abgeleitete Verfahren zur Objektivierung von
Sauerstoffverbrauchsmessungen - unabhängig vom
verwendeten ergospirometrischen System**

von

Reiner Wagner

aus

Untersteinach

1971
—



Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41548401_0057

Aus der Medizinischen Poliklinik
der Universität Erlangen-Nürnberg
Direktor: Professor Dr. med. C. Korth

**Vergleichende Messungen
des Sauerstoffverbrauches an drei verschiedenen
Systemen der Ergospirometrie und damit
abgeleitete Verfahren zur Objektivierung von
Sauerstoffverbrauchsmessungen - unabhängig vom
verwendeten ergospirometrischen System**

Inaugural-Dissertation
zur Erlangung der Doktorwürde
der Hohen Medizinischen Fakultät
der Friedrich-Alexander-Universität
Erlangen-Nürnberg

vorgelegt
von
Reiner Wagner
aus
Untersteinach

Gedruckt mit der Erlaubnis der Medizinischen Fakultät
der Universität Erlangen-Nürnberg

Gelesen: Professor Dr. med. C. Korth

Vergleichende Messungen
des Sauerstoffverbrauches an drei verschiedenen
Systemen der Ergonomie und deren
abgeleitete Verfahren zur Quantifizierung von
Sauerstoffverbrauchsmessungen - Abhängigkeit vom
verwendeten ergographischen System

Ergebnisse der Untersuchung

1. Vergleich der Messungen

2. Vergleich der Messungen

3. Vergleich der Messungen



Dekan: Prof. Dr. W. Schiefer

1. Referent: Prof. Dr. J. Schmidt

2. Referent: Prof. Dr. C. Korth

Tag der mündlichen Prüfung: 20. 7. 1971

Universität

INHALTSÜBERSICHT

Seite

A	ZUSAMMENFASSUNG	1
B	EINLEITUNG	6
C	PROBLEMSTELLUNG	6
D	METHODIK	7
	I. Systeme der Ergospirometrie	7
	1. Geschlossenes System	7
	2. Offenes System	8
	3. Ventilgesteuertes System	9
	II. Versuchsanordnung	10
	III. Leistungsumsatzbedingungen	11
	IV. Genaue Beschreibung der Versuche bei Versuchsreihe III	12
	V. Auswertungsmethoden	14
	1. Spitzenverbrauch	14
	2. Additionswerte	14
	3. Planimetrie	14
	VI. Schwellenfindung	15
	VII. Bestimmung des Differenzquotienten	16
	VIII. Korrektur der Meßergebnisse	18
	1. Schwellenkorrektur	18
	2. Zeitverspätungskorrektur	18
	IX. Bestimmung der Sauerstoffschuld in der Nachatmungsphase	19

	Seite
E VERSUCHSERGEBNISSE	19
I. Ergebnisse ohne Korrektur	19
1. Versuchsreihe I	20
2. Versuchsreihe II	20
3. Versuchsreihe III	21
4. Schwellenbestimmung	25
5. Bestimmung des Differenzquotienten	27
II. Korrektur der Meßergebnisse bei Versuchsreihe III	31
1. Schwellenkorrektur	31
2. Zeitverspätungskorrektur der schwellenkorrigierten Meßwerte	32
III. Subjektive Meßergebnisse	37
F ÜBERSICHT ÜBER DIE RELATIVERGEBNISSE DER EINZELNEN VERSUCHSREIHEN	38
I. Versuchsreihe I	38
II. Versuchsreihe II	38
III. Versuchsreihe III	38
G DISKUSSION	40
H LITERATUR	48
J LEBENS LAUF	

A. ZUSAMMENFASSUNG

Das Ziel der vorliegenden Arbeit war es, ein allgemein brauchbares Verfahren zu entwickeln, das eine Reproduktion und einen objektiven Vergleich von Meßergebnissen gleichartiger ergospirometrischer Versuchsreihen gewährleistet, und zwar unabhängig von der verwendeten Apparatur.

Es wurden mehrere Versuchsreihen mit Belastungen bis 150 Watt an drei verschiedenen Systemen der Ergospirometrie (offen, geschlossen, ventilgesteuert) durchgeführt. Durch den Vergleich verschiedener Auswertungsverfahren, sowie durch zwei Korrekturmethode gelang es, differierende Meßergebnisse einander anzugleichen und klare Bedingungen für ergospirometrische Meßreihen zu erstellen.

1. Wie unsere Meßergebnisse zeigen, sollten Versuchsreihen zur Sauerstoffverbrauchsmessung folgende Bedingungen erfüllen:

- a) Eine Mindestdauer der Voratmung (bei angeschlossenem Spirometer) von 5 Minuten vor Beginn der Belastung.

Durch die Voratmung soll die für das System spezifische Schwelle (mittlerer Sauerstoffverbrauch in der Minute) bei Ruheatmung gefunden werden.

Optimal für eine exakte Schwellenfindung sind etwa 15 Minuten Voratmungsdauer.

- b) An die Leistungsphase sollte sich eine Nachatmungsphase (bei angeschlossenem Spirometer) anschließen. Die Nachatmungsphase ist von der vorangegangenen

Belastung, und zwar deren Zeitdauer und Intensität abhängig. Sie ist wichtig für die Bestimmung des Abgleiches der während der Belastung eingegangenen Sauerstoffschuld, sowie die Errechnung der Systemschwelle nach Beendigung der Belastung. Die Dauer der Nachatmung kann mit dem unten angegebenen Verfahren der Differenzquotientenbildung bereits während des Versuchsablaufes ermittelt werden.

2. Für die Objektivierung von Meßergebnissen des Sauerstoffverbrauches beim Vergleich verschiedener Systeme der Ergospirometrie müssen die dazu unentbehrlichen Schwellen aus Vor- und Nachatmung bestimmt werden.

- a) Die Voratumungsschwelle (Ruheschwelle) wird aus dem Mittelwert der Minutenverbrauchswerte der Voratmungsphase bestimmt.
- b) Die Nachatmungsschwelle läßt sich als Mittelwert eines durch Differenzquotientenbildung auffindbaren Zeitabschnittes der Nachatmungsphase bestimmen.
- c) Die Gesamtschwelle (Mittelwert von Vor- und Nachatmungsschwelle) stellt das Optimum zur Erstellung der systemspezifischen und individuellen Sauerstoffverbrauchsschwelle in Ruhe dar.

Größere Abweichungen der Mittelwerte von Vor- und Nachatmungsschwelle zeigen, daß systematische Fehler in der getesteten Apparatur vorliegen müssen.

Die Angabe aller drei Schwellen und ihre genaue Bezeichnung ist für eine objektive Berichterstattung unbedingt erforderlich.

3. Eine weitere Charakterisierung der Sauerstoffverbrauchs-kurve erfolgt durch die Bildung des "Differenzquotienten". Dabei handelt es sich um den Quotienten des n-ten Sauerstoffminutenverbrauchswertes zu dem $(n - 1)$ ten Minutenverbrauchswert.

Dieser Wert gibt sowohl arithmetisch als auch in der graphischen Darstellung exakt an, ob die verglichenen Systeme der Ergospirometrie gleichzeitig oder mit Zeitverspätung arbeiten. Sollte eine Zeitverspätung auftreten, so ist sie sowohl rechnerisch als auch graphisch zu korrigieren. Der Differenzquotient gibt außerdem an, ob bei den einzelnen Belastungsstufen in der Sauerstoffaufnahme eine Art "steady-state" erreicht wird und wann die Nachatmung zum Abgleich der während der Belastung entstandenen Sauerstoffschuld beendet ist. An diesem Punkt beginnt die Zeiteichung für die Bestimmung der Nachatmungsschwelle.

4. Ein korrektes Verfahren zur Auswertung der Meßpunkte ist Voraussetzung für die Bestimmung der absoluten Sauerstoffverbrauchswerte bei Belastung.

Hier bieten sich folgende Möglichkeiten an:

- a) Als hervorragende Methode kann die graphische Aufzeichnung der Minutenverbrauchswerte und die anschließende planimetrische Flächenerrechnung bezeichnet werden. Hierzu ist allerdings ein relativ großer Arbeitsaufwand erforderlich.
- b) Eine im Ergebnis annähernd gleichwertige Methode besteht in der Addition der Minutenverbrauchswerte innerhalb einzelner Leistungsphasen und während der Gesamtbelastung.

- c) Als unbrauchbar hat sich die alleinige Auswertung von Spitzenwerten jeweils zur letzten Minute der Belastungsstufen für eine Interpretation zum Vergleich der drei Apparaturen erwiesen.
5. Korrekturmöglichkeiten differierender Meßergebnisse gleicher Versuchsreihen an verschiedenen Systemen.
- a) Schwellenkorrektur
- Meßfehler, die auf systematischen Unterschieden in der Meßebene der Systeme beruhen, können nach dem einfachen Verfahren der Schwellenkorrektur korrigiert werden. Die Schwellenkorrektur wird so vorgenommen, daß zunächst die Gesamtschwelle des Bezugssystems bestimmt wird und anschließend der absolute Zahlenwert der Abweichungen der Gesamtschwellen der anderen Systeme (von der Gesamtschwelle des Bezugssystems) errechnet wird. Dieser Zahlenwert wird mit der Zeitdauer der entsprechenden Versuchsphase multipliziert und (je nach Vorzeichen) entweder zum unkorrigierten Summenwert dieser Versuchsphase addiert oder von ihm subtrahiert.
- b) Zeitverspätungskorrektur
- Eine Zeitverspätung der einzelnen Meßfühler bei einem System (sichtbar in der Differenzquotientenkurve) kann wie folgt korrigiert werden:
- Nach dem Schwellenausgleich von Meß- und Vergleichskurve (Sauerstoffverbrauch in Abhängigkeit von der Zeit) werden durch Parallelverschiebung in der Ordinate die steil aufsteigenden und steil abfallenden Schenkel der Kurven zur Deckung gebracht.
- An der Verschiebung der markierten Leistungseinsatzpunkte,

sowie der Markierung des Leistungsabbruches kann nun in der Abszisse die Zeitverspätung abgelesen werden. Die Meßwerte können jetzt auch rechnerisch korrigiert werden.

- c) Alle Meßergebnisse müssen natürlich vor einem Vergleich und vor den Korrekturen auf STPD-Werte (Werte bei Standardbedingungen) umgerechnet werden.

Unsere Meßergebnisse, die sich nach den vorgeschlagenen Korrekturen beim Vergleich von geschlossenem zu offenem zu ventilgesteuertem System annähernd wie 100 : 100 : 100 verhalten, dürften den eindeutigen Beweis der Richtigkeit unserer Forderungen an ergospirometrische Meßreihen beweisen.

B EINLEITUNG

Für die Sauerstoffverbrauchsmessungen in der Klinik, in Sportmedizin, Arbeits- und Versicherungsmedizin werden drei Systeme der Ergospirometrie verwendet, die sich in ihrer Methodik und Konstruktion weitgehend voneinander unterscheiden: geschlossenes, offenes und ventilgesteuertes System. Trotz der Bemühungen um eine Standardisierung des ergometrischen Untersuchungsganges (MELLEROWICZ und Mitarb., RUTENFRANZ), trotz ständiger Weiterentwicklung der einzelnen Systeme, dem Einsatz von elektronischen Zusatzgeräten für Messung, Regelung und Integrierung einzelner Meßgrößen (VALENTIN, OSTEN, HANSEN, BRANDT und Mitarb., BUCHHEIM) ist die Möglichkeit der Reproduktion und des objektiven Vergleiches gleichartiger Versuchsserien immer noch erheblich eingeschränkt.

Dabei ist es gleichgültig, ob die Ergebnisse an unterschiedlichen oder an gleichartigen Systemen der Ergospirometrie gewonnen wurden, denn die Stabilität einer ergospirometrischen Apparatur und damit die Grundwerteinstellung kann sich bereits innerhalb kurzer Zeit in einem solchen Maße verschieben, daß ein objektiver Vergleich nicht mehr gewährleistet ist.

C PROBLEMSTELLUNG

Es soll ein allgemein brauchbares Verfahren entwickelt werden, das es gestattet, Meßergebnisse von Sauerstoffverbrauchsmessungen objektiv miteinander vergleichen zu können, und zwar ohne Rücksicht auf das verwendete ergospirometrische System. Es soll weiterhin geklärt werden, ob geschlossenes, offenes und ventilgesteuertes System in den allgemein geforderten

Bereichen gleichwertige Meßergebnisse liefern, welches System die stabilste Meßeinrichtung besitzt, und was getan werden muß, um eventuell differierende Ergebnisse lückenlos ineinander zu überführen.

Zur Klärung dieser Forderungen werden mehrere große Versuchsreihen angesetzt, die sich dadurch unterscheiden, daß einmal nur bei Belastung, das anderemal jedoch auch in körperlicher Ruhe vor und nach Belastung Sauerstoffverbrauchsvolumina bestimmt werden. Die so gewonnenen Meßwerte werden auf Normalbedingungen (STPD-Werte bei Standardbedingungen) umgerechnet und nach verschiedenen Methoden ausgewertet.

D METHODIK

I. Systeme der Ergospirometrie

Wir verwenden für unsere Vergleichsmessungen folgende Systeme:

1. Geschlossenes System

Bei dem System handelt es sich um die Apparatur MAGNA-Test Typ 610 der Firma DARGATZ, HAMBURG.

Der MAGNA-Test Typ 610 ist ein Spirograph mit geschlossenem Systemkreislauf, in dem der Proband über eine Atemmaske an ein Luftkreislaufsystem angeschlossen ist, dessen Systemluft über eine Pumpe laufend umgewälzt wird. Die Ventilation ist mit Hilfe einer Drosselklappe kontinuierlich regelbar und wird mit einem Strömungsmesser direkt angezeigt.

Die Expansionsluft wird durch zwei parallelgeschaltete, wassergekühlte Natronkalkabsorber von Kohlensäure gereinigt. Die einzelnen Atemzüge können durch die Bewe-

gung der Spirometerglocken über ein Schreibersystem sichtbar gemacht werden. Der Luftkreislauf wird ergänzt durch eine Sauerstoffstabilisierungseinrichtung (SPIEGELHAUER). Diese besteht aus zwei spirometerähnlichen Gasbehältern von je 35 Liter Inhalt. Aus einem der Behälter atmet der Proband direkt, aus dem anderen wird über einen Sauerstoffregler das verbrauchte Volumen des Direktzylinders laufend ergänzt. Sinn dieser Sauerstoffstabilisierung soll eine konstante Sauerstoffkonzentration im Spirometerkreislauf sein. Die Berechnung des Sauerstoffverbrauchs erfolgt aus der Steigung der Verbindungsgeraden der Fußpunkte der Respirationskurven.

2. Offenes System

Bei dem Gerät handelt es sich um die Apparatur SIREGNOST FD 78 der Firma SIEMENS.

Der SIREGNOST FD 78 nimmt die respiratorischen Untersuchungen im offenen System vor und errechnet elektronisch die statischen und dynamischen Volumina.

Der Proband atmet hier die umgebende Raumluft durch einen rohrförmigen Atemstromrezeptor ein (Pneumotachograph nach FLEISCH), in dessen Lumen eine große Anzahl feiner Kanäle eingebaut sind. Aufgabe dieser Kanäle ist die Garantie laminarer Strömung innerhalb der Meßbereiche der einzelnen Atemstromrezeptoren. Infolge der Reibung der Atemluft in den feinen Kanälen baut sich eine der Strömungsgeschwindigkeit proportionale Druckdifferenz auf, die zur Messung über zwei dünne pneumatische Leitungen dem Druckdifferenzrezeptor zugeführt wird.

Zur Vermeidung der Kondensation des der Expirationsluft stets beigemischten Wasserdampfes in den Strömungskapillaren

werden diese auf 37 Grad Celsius aufgeheizt, so daß die Temperatur der Atemluft am Ort der Messung bei Expiration und Inspiration nahezu gleich ist.

Durch entsprechende Anschlüsse am Meßkopf werden während der Untersuchung laufend Gasproben entnommen und analysiert. Eine durch den Atemstrom gesteuerte Pumpe saugt nur die Expirationsluft ab. Die abgesaugte Gasmenge ist direkt proportional dem Atemstrom. Bei Inspiration schaltet die Pumpe ab.

Die Bestimmung des Sauerstoffes erfolgt durch den Doppelkammeroxy-Test der Firma HARTMANN und BRAUN. Dieses Gerät erlaubt eine gleichzeitige Analyse der Ex- und Inspirationsluft. Die gemessene Differenz des Sauerstoffgehaltes beider Volumina entspricht dem Sauerstoffverbrauch und wird in % Delta O_2 durch Kompensationspunktschreiber ausgedruckt.

An unserem Modell des SIREGNOST FD 78 wurde zusätzlich ein Ventilator zum Absaugen der Respirationsluft angebracht, um die Reinspiration verbrauchter und damit in ihrer Zusammensetzung geänderter Respirationsvolumina zu vermeiden.

3. Ventilgesteuertes System

Bei dem ventilgesteuerten Gerät handelt es sich ebenfalls um die Apparatur SIREGNOST FD 78.

Anstelle der Meßdüse wird hier eine Maske verwendet. Zur Gasanalyse wird unverfälschte Expirationsluft benötigt, die durch ein Atemventil und einen Schlauch vom Mund des Probanden zu einem Mischkessel geführt wird.

Aus diesem Mischkessel wird eine konstante Menge an Volumen zur Gasanalyse abgesaugt. Die Gasanalyse erfolgt wie beim offenen System.

Das zusätzliche Totraumvolumen beim ventilgesteuerten System kann unter 40 ml gebracht werden, so daß der Rückatmungsanteil wesentlich kleiner wird als beim offenen System. Voraussetzung dafür ist jedoch ein leichtgängiges Ventil, das entsprechend weites Lumen aufweisen muß, damit der Strömungswiderstand gering bleibt.

Bei allen drei Systemen wird das Fahrradergometer der Firma ELEMA SCHÖNANDER Typ AM 368 verwendet. Die Drehzahl beträgt während der Belastung 60 U /min.

II. Versuchsanordnung

Um unsere Zielsetzung zu erreichen, werden in den folgenden Versuchsreihen die Messungen an jeweils allen drei Systemen der Ergospirometrie durchgeführt.

1. Sauerstoffverbrauchsmessungen nur in der Leistungsphase (Versuchsreihe I)

Es wird der Sauerstoffverbrauch während drei Belastungsstufen, von je 6 Minuten Dauer, gemessen. Die Belastungsstufen sind 100 Watt, 125 Watt und 150 Watt.

Es handelt sich um männliche, sportlich trainierte Versuchspersonen im Alter von 23 - 26 Jahren.

2. Sauerstoffverbrauchsmessungen bei Belastung mit anschließender Nachatmung von 10 Minuten Dauer (Versuchsreihe II)

Die Versuchspersonen bei dieser Versuchsreihe sind gesunde Mädchen mit einem Durchschnittsalter von 22 Jahren. Da sie einer dritten Leistungsstufe nicht gewachsen wären, werden mit 100 Watt und 125 Watt nur zwei Belastungsstufen, von je 6 Minuten Dauer, registriert.

3. Sauerstoffverbrauchsmessungen mit Voratmung, mit Leistungsphasen verschiedener Intensität und anschließender Nachatmung (Versuchsreihe III)

Hierbei handelt es sich um die Versuchsreihe, bei der die Meßergebnisse nach Zeitverspätung und Schwelle korrigiert werden konnten.

Zur Bestimmung der Voratmungsschwelle (Ruheschwelle) müssen die Probanden bei angeschlossenem Spirometer 15 Minuten voratmen. Danach werden in der Leistungsphase Wattstufen von 100 Watt, 125 Watt und 150 Watt, von je 6 Minuten Dauer, getreten. Nach der Belastung werden weitere 27 Minuten in körperlicher Ruhe registriert (Nachatmungsphase).

Die Versuchspersonen sind sportlich trainierte Männer mit einem Durchschnittsalter von 25 Jahren.

Bei allen drei Meßreihen werden die Probanden an jedem System einmal eingesetzt.

III. Leistungsumsatzbedingungen bei den Versuchsreihen

Bei unseren Untersuchungen hielten wir uns an die Vereinbarungen des Standardisierungskomitees für Ergometrie im ICSPE, vom 6. September 1967 (2. Internationales Seminar für Ergometrie, Berlin 1967).

1. Unsere Versuche fanden ausschließlich vormittags in der Zeit von 9.⁰⁰ Uhr bis 11.⁰⁰ Uhr statt.
2. Die durchschnittliche Raumtemperatur betrug 18° C.
3. Der mittlere Luftdruckwert lag bei 731 mm Quecksilbersäule.

4. Die mittlere Luftfeuchtigkeit betrug 49 %.

Raumtemperatur, Luftdruck und Luftfeuchtigkeit wiesen niemals Extremwerte auf.

5. Am Vortag und vor den Versuchen am Untersuchungstag waren die Versuchspersonen keinerlei körperlicher und psychischer Belastung unterzogen.

6. Da die Belastungen den ausgewählten Versuchspersonen keine sonderliche Anstrengung bedeuteten, konnte bei ihnen die innere Einstellung, Leistung erbringen zu müssen, nicht aufkommen.

Eine Willensanstrengung war nur insofern erforderlich, als insgesamt die Belastung durch die Maske bei Versuchsreihe III eine Stunde andauerte.

IV. Genaue Beschreibung der Versuche an den verschiedenen Systemen bei Versuchsreihe III

1. Geschlossenes System

Nach Bestimmung der individuellen Sattelhöhe, nimmt der Proband in leichter Sportkleidung auf dem Fahrradergometer Platz. Es wird ihm eine Vollsichtmaske aus Plexiglas aufgesetzt. Ein aufblasbarer Gummiring schließt die Maske im Bereich von Stirn, Schläfen, Wangen und Kinn luftdicht ab.

Die Haltung des Probanden, in der er nun 15 Minuten verweilt, gleicht der eines Radfahrers.

Anschließend erfolgt die Belastung mit 100 Watt, 125 Watt und 150 Watt, je 6 Minuten lang.

Nach Ende der Belastung bleibt die Versuchsperson weitere 10 Minuten auf dem Fahrradergometer sitzen und steigt dann, ohne daß die Maske abgenommen wird, auf einen ge-

polsterten Stuhl mit Lehne und Armstützen um.

Dieses Umsteigen kann sich sowohl in der graphischen Darstellung der Sauerstoffverbrauchskurve, als auch in der Differenzquotientenkurve, als kleine Gipfel ausdrücken und könnte jederzeit anhand des angrenzenden Kurvenverlaufes durch Interpolation ausgeschaltet werden.

2. Offenes System

Nach individueller Sattelleinstellung wird der Proband an das System angeschlossen. Er atmet durch ein Plastikmundstück, das an den FLEISCH'schen Pneumotachographen gekoppelt ist. Die Nase wird durch eine Klemme verschlossen. Die starre Apparatur gestattet der Versuchsperson keinerlei Bewegung von Kopf und Nacken.

Nach 15 Minuten Ruheatmung erfolgt wieder die Belastung in Stufen von 100 Watt, 125 Watt und 150 Watt, je 6 Minuten lang.

Nach der Belastung bleibt die Versuchsperson weitere 10 Minuten auf dem Fahrradergometer und steigt dann, wie beim geschlossenen System, auf den gepolsterten Stuhl um, während sie immer noch an das Spirometer angeschlossen bleibt.

3. Ventilgesteuertes System

Anschluß an das System und 15 Minuten Ruheatmung auf dem Fahrradergometer.

Beim ventilgesteuerten System schließt die Maske Mund und Nase ein. Sie ist mit einer Beatmungsmaske vergleichbar und wird durch einen Schlauch mit dem Spirometer verbunden. Im Gegensatz zum offenen System hat der Proband die Mög-

lichkeit, sich frei zu bewegen. Seine Haltung ist bequem.

Die Belastungsphasen sind wieder 100 Watt, 125 Watt und 150 Watt, je 6 Minuten lang.

10 Minuten nach Belastungsende steigt auch diesmal die Versuchsperson auf einen bequemen Stuhl um.

V. Auswertungsmethoden

Folgende Auswertungsmethoden werden beim offenen, geschlossenen und ventilgesteuerten System miteinander verglichen:

1. Bestimmung des Spitzenverbrauches

Dabei werden auf STPD-Werte umgerechnete Sauerstoffverbrauchsvolumina in der letzten Minute der einzelnen Belastungsstufen bestimmt.

Bei den vorliegenden Versuchen entspricht das jeweils der 6. Minute der Belastungsstufen.

2. Berechnung des Additionswertes

Darunter wird die Summe der Minutenverbrauchsvolumina jeder Belastungsstufe verstanden. Bei unseren Meßreihen sind das jeweils die Summenwerte der 1. mit 6. Minute, der 7. mit 12 Minute und der 13. mit 18. Minute der Belastung.

Für den Vergleich der drei verschiedenen Systeme wird der Summenwert der gesamten Leistungsphase herangezogen.

3. Planimetrische Messung des graphisch dargestellten Sauerstoffverbrauches

Zum Vergleich mit den beiden anderen Methoden soll bei der Meßreihe II gezeigt werden, welches Auswer-

tungsverfahren der planimetrischen Berechnung graphischer Darstellungen des Sauerstoffverbrauches während der Leistungsphase in den Werten am nächsten liegt.

VI. Schwellenfindung

Als Schwellenwert bezeichnen wir den mittleren Sauerstoffverbrauch pro Minute bei Ruheatmung.

Da bei den Versuchsreihen I und II die Voratmung als wesentlicher Faktor der Schwellenbestimmung fehlt, kann nur die Versuchsreihe III zur Schwellenfindung herangezogen werden.

Aus diesem Grund beziehen sich alle graphischen Darstellungen dieser Arbeit ebenfalls nur auf die Versuchsreihe III.

1. Voratmungsschwelle aus 15 Minuten Voratmung

Bestimmt wird der Mittelwert der Minutenverbrauchsvolumina in den 15 Minuten der Voratmung bei geschlossenem, offenem und ventilgesteuertem System.

2. Voratmungsschwelle aus den ersten 5 Minuten der Voratmung

Bestimmt werden die Mittelwerte der Minutenverbrauchswerte an Sauerstoff bei geschlossenem, offenem und ventilgesteuertem System aus den ersten 5 Minuten der Voratmung.

3. Nachatmungsschwelle

Während der Ruheatmung nach der Belastung kehrt der Sauerstoffverbrauch pro Minute, nach Abgleich der während der Leistungsphase eingegangenen Sauerstoffschuld, wieder auf eine Art Ruheschwelle zurück. Dieser Zeitpunkt ergibt sich aus der Auswertung der nachfolgend beschriebenen Differenzquotientenerstellung für jedes System.

(Bei der Versuchsreihe III ist es die 11. Minute nach Leistungsabbruch).

Von diesem Punkt ab beginnt die Zeiteichung für die Bestimmung der Nachatmungsschwelle als Mittelwert der Sauerstoffverbrauchsvolumina eines nachfolgenden Zeitabschnittes.

(Bei Versuchsreihe III sind dies die 11. mit 20. Minute der Nachatmungsphase).

Größere Abweichungen der Mittelwerte von Vor- und Nachatmungsschwelle zeigen, daß systematische Fehler bei der getesteten Apparatur vorliegen.

4. Gesamtschwelle

Die Gesamtschwelle für geschlossenes, offenes und ventilgesteuertes System ist der Mittelwert aus Voratmungs- und Nachatmungsschwelle. Ihre Berechnung stellt das Optimum zur Erstellung der systemspezifischen und individuellen Sauerstoffverbrauchsschwelle in Ruhe dar. Gegensinnige Abweichungen von Vor- und Nachatmungsschwelle können so über den gesamten Meßbereich der Belastung ausgeglichen und damit systematische Meßfehler der Apparatur korrigiert werden.

VII. Bestimmung des Differenzquotienten

(Vergleiche graphische Darstellungen 2, 3 und 4)

Eine weitere Charakterisierung der Sauerstoffverbrauchskurve erfolgt durch die Bildung des Differenzquotienten. Dabei handelt es sich um den Quotienten des n -ten Minutenverbrauchswertes zu dem $(n - 1)$ ten Minutenverbrauchswert. Dieser Wert kann bereits während des Versuchsablaufes berechnet werden.

Da die Volumina der Sauerstoffaufnahme bei Ruheatmung nur wenig differieren, liegt der Zahlenwert des Differenzquo-

tienten in der Voratmungsphase bei 1,0; das entspricht in der graphischen Darstellung der 100 %-Linie.

Bereits Abweichungen um 20 % geben Aufschluß darüber, ob sich die Charakteristik des Sauerstoffverbrauches pro Minute entscheidend ändert. So wird zu Beginn der Belastungsphase (bedingt durch die starken Änderungen des Sauerstoffverbrauches pro Minute) der Differenzquotient weit über die 100 %-Linie ansteigen.

Ein erneutes Einpendeln auf die 100 %-Linie während der Belastung bedeutet, daß der Proband in seinem Sauerstoffverbrauch eine Art "steady-state" erreicht hat.

Nach Belastungsende bleibt der Differenzquotient solange unter 100 %, bis die während der Leistungsphase eingegangene Sauerstoffschuld der Versuchsperson abgeglichen ist, und die Sauerstoffaufnahme wieder eine Art Ruheschwelle erreicht hat. An diesem Punkt beginnt unsere Zeiteichung für die Bestimmung der Nachatmungsschwelle.

Die Rückkehr des Differenzquotienten auf die 100 %-Linie sagt aber nichts über die Absolutwerte der Sauerstoffverbrauchsvolumina aus.

Gipfelverschiebungen der Differenzquotientenkurve von der Pfeilmarkierung des Leistungseinsatzes und des Leistungsabbruches (vergl. Abb. 5 u. 6) sprechen im Vergleich mit anderen Systemen deutlich für Zeitunterschiede bei der Bestimmung der Sauerstoffvolumina durch die Meßfühler.

Eine entsprechende zeitliche Korrektur der Meßkurve (Sauerstoffaufnahme in Abhängigkeit von der Zeit) ist daraufhin durchzuführen.

Der Differenzquotient gibt somit arithmetisch und in der graphischen Darstellung exakt an, ob die verglichenen Systeme der Ergospirometrie gleichzeitig oder mit Zeitverspätung arbeiten.

VIII. Korrekturen der Meßergebnisse

Es kann, da bei den anderen Meßreihen die Ruheschwellen von Vor- und Nachatmungsphase nicht zu ermitteln sind, nur die Meßreihe III korrigiert werden.

1. Schwellenkorrektur

Die Schwellenkorrektur wird so vorgenommen, daß zunächst die Gesamtschwelle des Bezugssystems (das ist in der vorliegenden Arbeit willkürlich die Schwelle des geschlossenen Systems) als Grundwert angenommen wird. Davon werden die Abweichungen der Gesamtschwellen der anderen Systeme als absoluter Zahlenwert bestimmt. Dieser Zahlenwert wird mit der Zeitdauer der entsprechenden Versuchsphase multipliziert und anschließend (je nach Vorzeichen) entweder zum unkorrigierten Summenwert dieser Versuchsphase addiert oder von ihm subtrahiert (vergl. E, II, 1).

2. Zeitverspätungskorrektur

(Vergleiche Abbildung 7)

Nach dem Schwellenausgleich von Meß- und Vergleichskurve (Sauerstoffverbrauch in Abhängigkeit von der Zeit) werden durch Parallelverschiebung in der Ordinate die steil aufsteigenden und die steil abfallenden Schenkel der Kurven zur Deckung gebracht. An den Pfeilmarkierungen des Leistungseinsatzes, sowie des Leistungsabbruches kann dann in der Abszisse die Zeitverspätung in Millimetern abgelesen und in Sekunden umgerechnet werden. Die Bezugsstrecke in der Abszisse bleibt jedoch bei allen Systemen gleich lang, d. h. der Leistungsabbruchpunkt verschiebt sich bei der Korrektur gleichsinnig mit dem Leistungseinsatzpunkt.

Da die Sauerstoffverbrauchsmeasureungen durch die Systeme im Abstand von je einer Minute erfolgen, bedeutet eine Zeitverspätung von mehr als 30 Sekunden, daß die zeitverspätete Kurve sowohl graphisch, als auch rechnerisch um einen ganzen Minutenwert nach links rückt.

Wird die 30-Sekundengrenze nicht überschritten, so gelten die ursprünglichen Werte.

Auch bei dieser Korrektur wird das geschlossene System willkürlich als Bezugssystem gewählt.

IX. Bestimmung des Abgleiches der Sauerstoffschuld in der Nachatmungsphase

Durch die Rückkehr des Differenzquotienten in der Nachatmungsphase auf die 100 %-Linie ist der Zeitpunkt des Abgleiches der respiratorischen Sauerstoffschuld nach Leistungsabbruch leicht zu ermitteln.

Auch diese Darstellung ist wegen der bei den anderen Versuchsreihen fehlenden Vor- und Nachatmungsphase nur bei der Versuchsreihe III möglich.

E VERSUCHSERGEBNISSE

I. Ergebnisse ohne Korrekturen

Die Meßergebnisse sind auf STPD-Bedingungen umgerechnet. Bei den Prozentangaben handelt es sich jeweils um relative Vergleichswerte zu den Meßergebnissen des geschlossenen Systems (geschlossenes System = 100 %).

Abkürzungen: Geschlossenes System = GS

Offenes System = OS

Ventilgesteuertes System = VS

1. Versuchsreihe I

Spitzenwerte zu jeder 6. Minute der Belastungsstufen

a) Belastungsstufe 100 Watt

GS:	1513 ml/min	=	100 %
OS:	1650 ml/min	=	109 %
VS:	1607 ml/min	=	106 %

b) Belastungsstufe 125 Watt

GS:	1832 ml/min	=	100 %
OS:	2099 ml/min	=	115 %
VS:	1763 ml/min	=	96 %

c) Belastungsstufe 150 Watt

GS:	2082 ml/min	=	100 %
OS:	2323 ml/min	=	112 %
VS:	2247 ml/min	=	108 %

2. Versuchsreihe II

Spitzenwerte zu jeder 6. Minute der Belastungsstufen

a) Belastungsstufe 100 Watt

GS:	1524 ml/min	=	100 %
OS:	1565 ml/min	=	103 %
VS:	1552 ml/min	=	102 %

b) Belastungsstufe 125 Watt

GS:	1902 ml/min	=	100 %
OS:	1926 ml/min	=	101 %
VS:	1918 ml/min	=	101 %

Additionswerte der einzelnen Belastungsstufen und der Gesamtbelastung

a) Belastungsstufe 100 Watt

GS:	7511 ml	= 100 %
OS:	7329 ml	= 98 %
VS:	7295 ml	= 97 %

b) Belastungsstufe 125 Watt

GS:	10677 ml	= 100 %
OS:	10884 ml	= 102 %
VS:	10842 ml	= 102 %

c) Gesamtbelastung: 100 Watt + 125 Watt

GS:	18188 ml	= 100 %
OS:	18233 ml	= 100 %
VS:	18133 ml	= 100 %

Planimetrische Sauerstoffverbrauchswerte

Gesamtbelastung: 100 Watt + 125 Watt

GS:	3360 Flächeneinheiten	= 100 %
OS:	3350 Flächeneinheiten	= 100 %
VS:	3290 Flächeneinheiten	= 98 %

3. Versuchsreihe III

Spitzenwerte zu jeder 6. Minute der Belastungsstufen

a) Belastungsstufe 100 Watt

GS:	1713 ml/min	= 100 %
OS:	1521 ml/min	= 89 %
VS:	1625 ml/min	= 95 %

b) Belastungsstufe 125 Watt

GS:	2024 ml/min	=	100 %
OS:	1891 ml/min	=	93 %
VS:	1897 ml/min	=	94 %

c) Belastungsstufe 150 Watt

GS:	2406 ml/min	=	100 %
OS:	2206 ml/min	=	92 %
VS:	2190 ml/min	=	91 %

Additionswerte der einzelnen Belastungsstufen und
der Gesamtbelastung

a) Belastungsstufe 100 Watt

GS:	9266 ml	=	100 %
OS:	7885 ml	=	85 %
VS:	8175 ml	=	88 %

b) Belastungsstufe 125 Watt

GS:	11465 ml	=	100 %
OS:	10770 ml	=	94 %
VS:	11030 ml	=	96 %

c) Belastungsstufe 150 Watt

GS:	13230 ml	=	100 %
OS:	12690 ml	=	96 %
VS:	12641 ml	=	95,5 %

d) Gesamtbelastung: 100 Watt + 125 Watt + 150 Watt

GS:	33961 ml	=	100 %
OS:	31345 ml	=	92 %
VS:	31848 ml	=	94 %

e) 10 Minuten Nachatmung (Abgleich der respiratorischen Sauerstoffschuld)

Dieser Zeitabschnitt wurde aus der Differenzquotientenkurve bestimmt.

GS:	5069 ml	= 100 %
OS:	6080 ml	= 120 %
VS:	6439 ml	= 127 %

f) Gesamtbelastung + 10 Minuten Nachatmung (Abgleich der respiratorischen Sauerstoffschuld)

GS:	$33961 \text{ ml} + 5069 \text{ ml} = 39030 \text{ ml}$		= 100 %
OS:	$31345 \text{ ml} + 6080 \text{ ml} = 37425 \text{ ml}$		= 96 %
VS:	$31848 \text{ ml} + 6439 \text{ ml} = 38287 \text{ ml}$		= 98 %

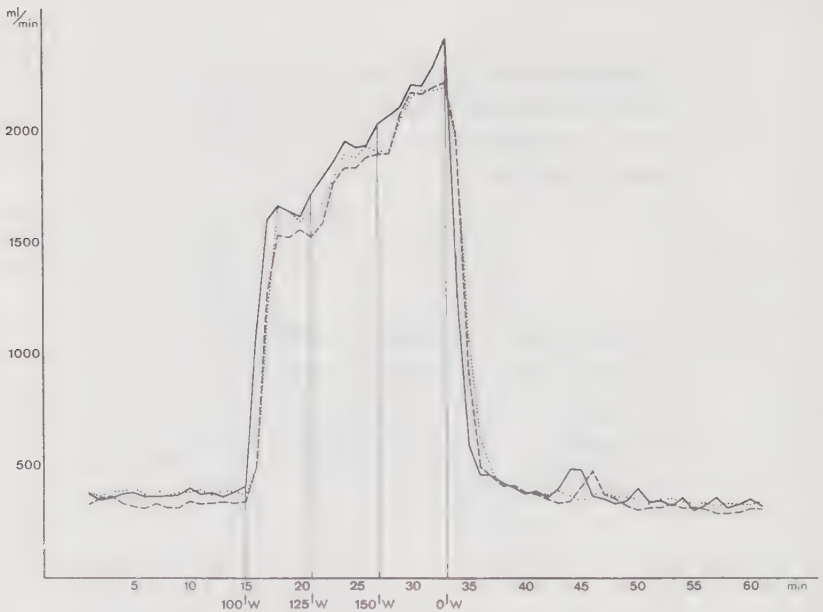


Abbildung 1 Sauerstoffverbrauchskurven (bei Versuchsreihe III) von geschlossenem, offenem und ventilgesteuertem System ohne Korrekturen.

— geschlossenem System
- - - - - offenem System
..... ventilgesteuertes System

In dieser Abbildung ist deutlich die Zeitverspätung des offenen und ventilgesteuerten Systems im Vergleich zum geschlossenen System zu erkennen.

4. Schwellenbestimmung

- a) Voratmungsschwelle aus den Minutenverbrauchswerten an Sauerstoff in den 15 Minuten der Voratmung als deren Mittelwert.

GS:	367 ml/min	=	100 %
OS:	331 ml/min	=	90 %
VS:	379 ml/min	=	103 %

- b) Voratmungsschwelle aus den ersten 5 Minutenverbrauchswerten an Sauerstoff in der Voratmung als deren Mittelwert.

GS:	361 ml/min	=	100 %
OS:	339 ml/min	=	94 %
VS:	381 ml/min	=	106 %

- c) Nachatmungsschwelle aus den Minutenverbrauchswerten der 11. mit 20. Minute der Nachatmung. Diese Zeitdauer wurde nach der Differenzquotientenkurve ermittelt.

GS:	344 ml/min	=	100 %
OS:	318 ml/min	=	92 %
VS:	354 ml/min	=	103 %

- d) Gesamtschwelle aus Voratmungsschwelle und Nachatmungsschwelle als deren Mittelwert.

GS:	355,5 ml/min	=	100 %
OS:	324,5 ml/min	=	91 %
VS:	366,5 ml/min	=	103 %

- e) Abweichungen der Gesamtschwellen des offenen und ventil-gesteuerten Systems von der Gesamtschwelle des geschlossenen Systems (wichtig für Schwellenkorrektur).

OS:	- 31 ml/min
VS:	+ 11 ml/min

f) Vergleich der Schwellen nach 5 und 15 Minuten

Voratmung.

	15 Minuten	5 Minuten	Differenz absolut	Abweichung in % des 15 min-Wertes
GS:	367 ml/min	361 ml/min	6 ml	1,6 %
OS:	331 ml/min	339 ml/min	8 ml	2,4 %
VS:	379 ml/min	381 ml/min	2 ml	0,53%

5. Bestimmung des Differenzquotienten

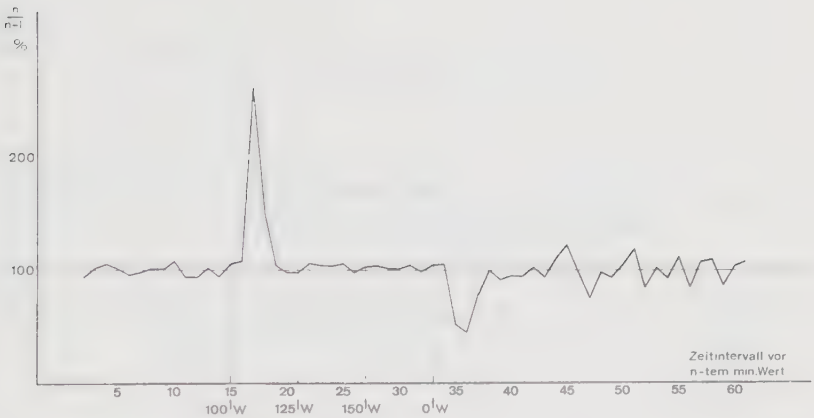


Abbildung 2 Differenzquotientenkurve des geschlossenen Systems mit Leistungseinsatz- und Leistungsabbruchpunkten.

Die stärkeren Schwankungen in der Ruhephase nach der 43. Minute sind durch die Umlagerung der Probanden auf einen bequemen Stuhl, sowie durch die psychische Belastung der zu diesem Zeitpunkt bereits unangenehm schmerzenden Gesichtsmaske bedingt.

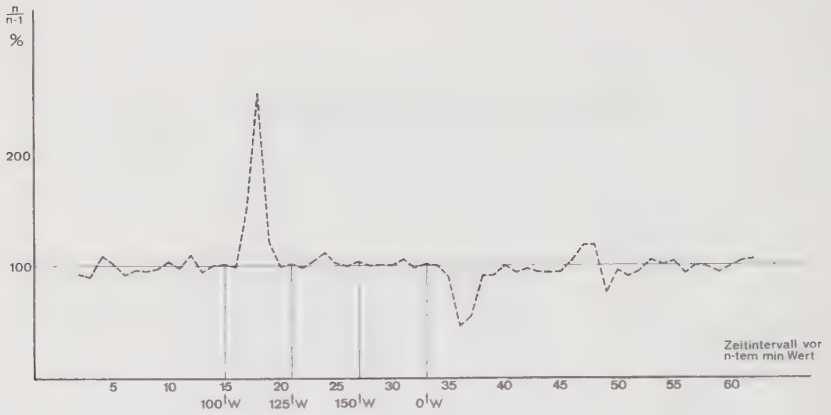


Abbildung 3 Differenzquotientenkurve des offenen Systems mit Leistungseinsatz- und Leistungsabbruchpunkten.

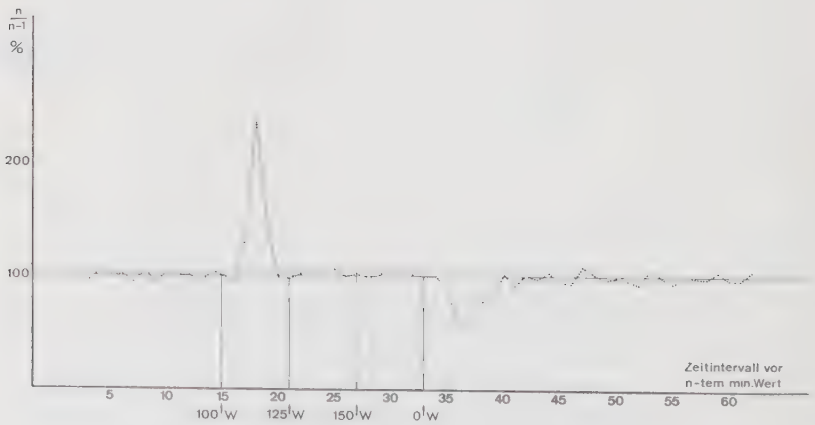


Abbildung 4 Differenzquotientenkurve des ventilgesteuerten Systems mit Leistungseinsatz- und Leistungsabbruchpunkten.

6. Vergleich der Differenzquotientenkurven

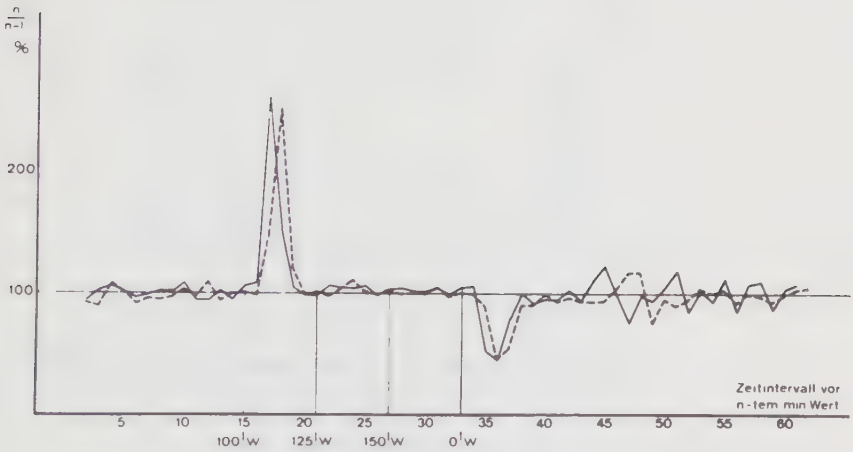


Abbildung 5 Differenzquotientenkurven des geschlossenen und offenen Systems mit Leistungseinsatz- und Leistungsabbruchpunkten.

———— geschlossen System
----- offenes System

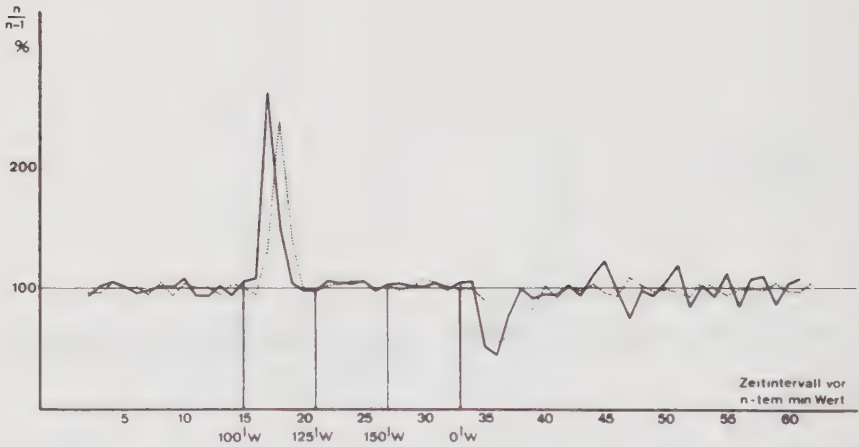


Abbildung 6 Differenzquotientenkurven des geschlossenen und ventilgesteuerten Systems mit Leistungseinsatz- und Leistungsabbruchpunkten.

———— geschlossen System
..... ventilgesteuertes System

Beim Vergleich der Differenzquotientenkurven der drei Systeme lassen sich eindeutig Gipfelverschiebungen der Kurven des offenen und ventilgesteuerten Systems zu Beginn der Leistungsphase (Pfeilmarkierung 100 W) und nach Leistungsabbruch (Pfeilmarkierung 0 W) erkennen.

Die Kurven des offenen und ventilgesteuerten Systems sind annähernd um eine Zeiteinheit nach rechts verschoben.

Aus diesem Grund muß eine Zeitkorrektur der Meßkurven (Sauerstoffverbrauch in Abhängigkeit von der Zeit) vorgenommen werden.

(Vergl. Korrekturverfahren D, VIII, 2. u. E, II, 2.).

II. Korrektur der Meßergebnisse bei Versuchsreihe III

1. Schwellenkorrektur

(Vergl. Korrekturverfahren D, VIII, 1.).

Wie aus Abbildung 1 und den Abweichungen der Gesamtschwellen bei der Schwellenbestimmung (Vergl. E, I, 4.e) ersichtlich ist, muß zunächst vor der Zeitverspätungskorrektur der Meßergebnisse eine geringe Schwellenkorrektur durchgeführt werden.

Der korrigierte Endwert errechnet sich aus:

Unkorrigierter Wert der Versuchsphase

+
- Schwellenabweichung von der Gesamtschwelle des Vergleichssystems x Zeit der Versuchsphase.

Das geschlossene System wird willkürlich als Bezugssystem angenommen.

a) Gesamtbelastung: 100 Watt + 125 Watt + 150 Watt

$$\text{GS: } 33961 \text{ ml} \pm 0 \text{ ml} = 33961 \text{ ml} = 100 \%$$

$$\text{OS: } 31345 \text{ ml} + 31 \text{ ml} \times 18 = 31903 \text{ ml} = 94 \%$$

$$\text{VS: } 31848 \text{ ml} - 11 \text{ ml} \times 18 = 31650 \text{ ml} = 93 \%$$

b) 10 Minuten Nachatmung (Abgleich der respiratorischen Sauerstoffschuld)

$$\text{GS: } 5069 \text{ ml} \pm 0 \text{ ml} = 5069 \text{ ml} = 100 \%$$

$$\text{OS: } 6080 \text{ ml} + 31 \text{ ml} \times 10 = 6390 \text{ ml} = 126 \%$$

$$\text{VS: } 6439 \text{ ml} - 11 \text{ ml} \times 10 = 6329 \text{ ml} = 125 \%$$

c) Gesamtbelastung + 10 Minuten Nachatmung

(Abgleich der respiratorischen Sauerstoffschuld)

$$\text{GS: } 33961 \text{ ml} + 5069 \text{ ml} = 39030 \text{ ml} = 100 \%$$

$$\text{OS: } 31903 \text{ ml} + 6390 \text{ ml} = 38293 \text{ ml} = 98 \%$$

$$\text{VS: } 31650 \text{ ml} + 6329 \text{ ml} = 37979 \text{ ml} = 97 \%$$

2. Zeitverspätungskorrektur der schwellenkorrigierten Meßwerte (Vergl. Korrekturverfahren D, VIII, 2.)

Leistungsphase I

Auf Grund der Zeitverspätung des offenen und ventilgesteuerten Systems bei der Bestimmung der Sauerstoffverbrauchs-volumina gegenüber dem geschlossenen (graph. Korrektur vergl. Abb. 5) stellen wir der 1. Minute der Belastung beim geschlossenen System, die 2. Minute der Belastung der beiden anderen Systeme als identische Kurvenpunkte zur Seite.

Dadurch ergeben sich folgende Gesamtbelastungen:

GS: Additionswerte der 1. Minute der Belastung mit 18.
Minute der Belastung.

OS: Additionswerte der 2. Minute der Belastung mit 1.
Minute der Nachatmung.

VS: Additionswerte der 2. Minute der Belastung mit 1.
Minute der Nachatmung.

Den korrigierten Wert erhalten wir auf folgendem Weg:

Vom schwellenkorrigierten Wert der Gesamtbelastung des ventilgesteuerten und offenen Systems subtrahieren wir den 1. Minutenwert der Belastung bei 100 Watt und addieren den 1. Minutenwert der Nachatmungsphase dazu.

a) Gesamtbelastung: 100 Watt + 125 Watt + 150 Watt

GS: 33961 ml = 33961 ml = 100 %

OS: 31903 ml - 497 ml + 1986 ml = 33392 ml = 98 %

VS: 31650 ml - 490 ml + 1953 ml = 33113 ml = 97,5%

b) 10 Minuten Nachatmung (Abgleich der respiratorischen Sauerstoffschuld)

GS: 5069 ml = 5069 ml = 100 %

OS: 6390 ml - 1986 ml + 341 ml = 4745 ml = 94 %

VS: 6329 ml - 1953 ml + 363 ml = 4739 ml = 93,5%

c) Gesamtbelastung + 10 Minuten Nachatmung (Abgleich der respiratorischen Sauerstoffschuld)

Dieser Wert braucht nach der Schwellenkorrektur zeitlich nicht mehr korrigiert zu werden, denn der verspätet registrierte und dadurch der Gesamtbelastung fehlende letzte Minutenwert der Belastung wird fälschlich

cherweise der Nachatmung (Abgleich der respiratorischen Sauerstoffschuld) zugeordnet.

Der durch die Zeitverspätung bedingte Fehler wird dadurch bei der Addition wieder ausgeglichen.

Leistungsphase II

Als andere Möglichkeit (eventuell bedingt durch ein verfrühtes Überschießen der Meßrezeptoren des geschlossenen Systems) kann die 1. Minute der Belastung des offenen und ventilgesteuerten Systems auch der letzten Voratungsminute des geschlossenen Systems als identischer Kurvenpunkt zur Seite gestellt werden.

Diesmal wird zum schwellenkorrigierten Wert der Gesamtbelastung des geschlossenen Systems der letzte Minutenwert der Voratungsphase addiert und der Wert der 18. Minute der Belastung abgezogen. Dieser zeit- und schwellenkorrigierte Wert des geschlossenen Systems wird mit den schwellenkorrigierten Werten der Gesamtbelastungen des offenen und ventilgesteuerten Systems verglichen.

Es ergeben sich folgende Gesamtbelastungen:

- GS: Wert der letzten Voratungsminute plus Additionswerte der 1. Minute der Belastung mit 17. Minute der Belastung.
- OS: Additionswerte der 1. Minute der Belastung mit 18. Minute der Belastung.
- VS: Additionswerte der 1. Minute der Belastung mit 18. Minute der Belastung.

a) Gesamtbelastung: 100 Watt + 125 Watt + 150 Watt

GS: 33961 ml + 404 ml - 2405 ml = 31960 ml = 100 %

OS: 31903 ml = 31903 ml = 100 %

VS: 31650 ml = 31650 ml = 99 %

b) 10 Minuten Nachatmung (Abgleich der respiratorischen Sauerstoffschuld)

GS: 5069 ml + 2405 ml - 394 ml = 7080 ml = 100 %

OS: 6390 ml = 6390 ml = 90 %

VS: 6329 ml = 6329 ml = 89 %

c) Gesamtbelastung + 10 Minuten Nachatmung
(Abgleich der respiratorischen Sauerstoffschuld)

Dieser Wert braucht aus den gleichen Gründen wie unter E, II, 2.c, zeitlich nicht korrigiert zu werden.

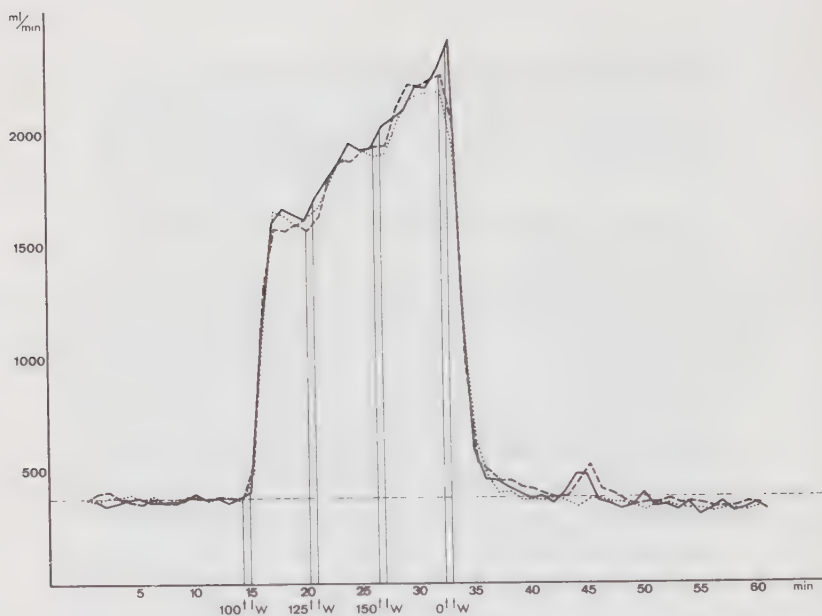


Abbildung 7 Sauerstoffverbrauchskurven von geschlossenem, offenem und ventilgesteuertem System nach Schwellen- und Zeitverspätungskorrektur.

————— geschlossenes System
 - - - - - offenes System
 ventilgesteuertes System

An den verschobenen Pfeilen des Leistungseinsatzes, sowie des Leistungsabbruches läßt sich die Zeitverspätung in Sekunden ablesen.

III. Subjektive Meßergebnisse

1. Am geschlossenen System

Nach etwa 20 Minuten beginnen die Auflagepunkte der Maske zu schmerzen. Mit zunehmender Verweildauer unter der Maske in der Nachatmungsphase werden diese Schmerzen fast unerträglich. Verantwortlich dafür ist der aufblasbare Gummiring der Maske, der an Stirn und Unterkiefer aufliegt.

Über Kopfschmerzen und Schwindelgefühl klagten alle Probanden nach Beendigung der Versuche am geschlossenen System.

2. Am offenen System

Die Haltung auf dem Fahrradergometer wird als extrem verkrampft empfunden, da der Kopf des Probanden durch die starre Apparatur fixiert ist.

Die auf 37 Grad Celsius aufgeheizte Luft läßt nach etwa 15 bis 20 Minuten den Rachen des Probanden austrocknen, daß Schluckbeschwerden auftreten. Am Mundstück macht sich unangenehmer Speichelfluß bemerkbar.

Auch hier treten in der Nachatmungsphase Schmerzen in Kopf und Nacken auf, bedingt durch die starre Haltung.

3. Am ventilgesteuerten System

Die Haltung während des Versuches wird als angenehm bezeichnet.

Von allen Probanden wird dieses System sowohl während der Belastung als auch in der anschließenden Nachatmungsphase als bequem empfunden.

F. VERGLEICHENDE ÜBERSICHT ÜBER DIE RELATIVERGEBNISSE DER EINZELNEN VERSUCHSREIHEN

In der Übersicht handelt es sich stets um Relativwertangaben. Das geschlossene System wird willkürlich als Bezugssystem angenommen, (es erhält Relativwert 100 %) und zum offenen und geschlossenen System in Beziehung gesetzt.

<u>I. Versuchsreihe I</u>	<u>GS</u>	:	<u>OS</u>	:	<u>VS</u>
Spitzenwerte in jeder 6. Minute der Belastungsstufen					
100 Watt	100	:	109	:	106
125 Watt	100	:	115	:	96
150 Watt	100	:	112	:	108

II. Versuchsreihe II

1. Spitzenwerte in jeder 6. Minute der Belastungsstufen					
100 Watt	100	:	103	:	102
125 Watt	100	:	101	:	101
2. Additionswerte der einzelnen Belastungsstufen					
100 Watt	100	:	98	:	97
125 Watt	100	:	102	:	102
Gesamtbelastung	100	:	100	:	100
3. Planimetrische Flächenerrechnung der Gesamtbelastung					
	100	:	100	:	98

III. Versuchsreihe III

1. Spitzenwerte in jeder 6. Minute der Belastungsstufen					
100 Watt	100	:	89	:	95
125 Watt	100	:	93	:	94
150 Watt	100	:	92	:	91

2. Additionswerte der einzelnen Belastungsstufen

a) unkorrigierte Ergebnisse

	<u>GS</u>	:	<u>OS</u>	:	<u>VS</u>
100 Watt	100	:	85	:	88
125 Watt	100	:	94	:	96
150 Watt	100	:	96	:	95,5
Gesamtbelastung	100	:	92	:	94
10 Minuten Nachatmung	100	:	120	:	127
Gesamtbelastung + 10 Minuten Nachatmung	100	:	96	:	98

b) korrigierte Ergebnisse

aa) Schwellenkorrektur

Gesamtbelastung	100	:	94	:	93
10 Minuten Nachatmung	100	:	126	:	125
Gesamtbelastung + 10 Minuten Nachatmung	100	:	98	:	97

bb) Schwellen- und Zeitverspätungskorrektur

Leistungsphase I

Gesamtbelastung	100	:	98	:	97,5
10 Minuten Nachatmung	100	:	94	:	93,5

Gesamtbelastung + 10 Minuten Nachatmung

(dieser Wert braucht zeitlich nicht korrigiert zu werden;
Gründe vergl. E, II, 2c)

Leistungsphase II

Gesamtbelastung	100	:	100	:	99
10 Minuten Nachatmung	100	:	90	:	89

Gesamtbelastung + 10 Minuten Nachatmung

(dieser Wert braucht zeitlich nicht korrigiert zu werden;
Gründe vergl. E, II, 2c)

G. DISKUSSION

Es wurden an drei verschiedenen Systemen der Ergospirometrie (geschlossen, offen, ventilgesteuert) vergleichende Sauerstoffverbrauchsmessungen durchgeführt. In drei Versuchsreihen sollte geklärt werden, ob geschlossenes, offenes und ventilgesteuertes System bei Belastungen bis 150 Watt gleichwertige Meßergebnisse liefern, und welches System die stabilste Meßeinrichtung besitzt. Es sollte außerdem ein Verfahren entwickelt werden, mit dem unterschiedliche Meßergebnisse gleichartiger Versuchsreihen, unabhängig von dem verwendeten System, ineinander übergeführt werden können.

- I. Wie unsere Meßergebnisse zeigen, ist ein objektiver Vergleich von Sauerstoffverbrauchsmessungen gleichartiger Versuchsreihen, gewonnen an unterschiedlichen Systemen der Ergospirometrie, ohne Korrekturen der Meßergebnisse nur in begrenztem Umfang möglich.

Es traten bei unseren vergleichenden Untersuchungen sowohl bei der Ruheatmung, als auch in der anschließenden Leistungsphase erhebliche Meßunterschiede bei den verwendeten Systemen auf (vergl. E, I, 1. u. 3.).

- II. Bei der Suche nach den möglichen Ursachen dieser Meßunterschiede und im Hinblick auf eine entsprechende Korrektur ließen wir in Versuchsreihe III unsere Versuchspersonen bei angeschlossenem Spirometer 15 Minuten lang in Ruhe voratmen. Durch diese Voratmung sollte die für das System spezifische Schwelle (mittlerer Sauerstoffverbrauch in der Minute) bei Ruheatmung gefunden werden.

Ein Vergleich mit der Nachatmungsschwelle (Mittelwert der Sauerstoffverbrauchsvolumina eines durch Differenzquotientenbildung auffindbaren Zeitabschnittes der Nachatmungsphase) zeigte, daß die prozentualen Meßunterschiede der Systeme auch nach der Leistungsphase weitgehend konstant blieben (vergl. nachfolgende Aufstellung).

Voratmungsschwelle (15 Minuten Voratmung)	Nachatmungsschwelle (11. mit 20. Minute der Nachatmung)
GS: 367 ml/min = 100 %	344 ml/min = 100 %
OS: 331 ml/min = 90 %	318 ml/min = 92 %
VS: 379 ml/min = 103 %	354 ml/min = 103 %

Es mußte somit ein Teil unserer unterschiedlichen Meßwerte auf systematischen Unterschieden in der Meßebene der Systeme beruhen.

Dieser Fehler konnte nach dem einfachen Verfahren der Schwellenkorrektur (vergl. D, VIII, 1 . u. E, II, 1.) ausgeglichen werden.

III. Mit der Einführung des durch experimentelle und rechnerische Versuche gefundenen "Differenzquotienten" (Verhältnis vom n-tem Minutenverbrauchswert zu (n-1)tem Minutenverbrauchswert) wurde eine weitere Voraussetzung für die Korrektur unserer Meßergebnisse geschaffen.

Da bei der Differenzquotientenbildung jeder Minutenverbrauchswert durch den vorhergehenden Wert dividiert wird, zeigt der Differenzquotient sowohl graphisch als auch arithmetisch eindeutig an, wann Änderungen in der Meßcharakteristik der Sauerstoffverbrauchsvolumina auftreten.

In unseren Messungen, also hauptsächlich zu Beginn der Belastung, bei Belastungssteigerungen, bei Leistungsabbruch, sowie während des Abgleiches der Sauerstoffschuld in der Nachatmungsphase (vergl. Abb. 2, 3, u. 4).

Bei der vergleichenden graphischen Darstellung der Differenzquotientenkurven der Systeme (vergl. Abb. 5 u. 6), zeigten sich eindeutig Gipfelverschiebungen der Kurven des offenen und ventilgesteuerten Systems zu Beginn der Leistungsphase und nach Leistungsabbruch im Vergleich zum geschlossenen System.

Damit war eine zeitliche Differenz der Systeme bei der Messung der Sauerstoffverbrauchsvolumina bewiesen. Unsere Ergebnisse mußten also auch noch zeitlich korrigiert werden.

Neben den Zeitdifferenzen der Meßfühler der Systeme gibt die Differenzquotientenkurve außerdem an, ob der Proband während der Belastungsstufen in seiner Sauerstoffaufnahme eine Art "steady-state" erreicht und wann die Nachatmung zum Abgleich der während der Belastung entstandenen Sauerstoffschuld beendet ist. (vergl. D, VII).

IV. Um die genaue Zeitverspätung des offenen und geschlossenen Systems bei der Messung der Sauerstoffverbrauchsvolumina zu bestimmen, wurde eine graphische Korrektur (vergl. E, VIII, 2.) unserer Meßkurven (Sauerstoffverbrauch in Abhängigkeit von der Zeit) durchgeführt. Durch Parallelverschiebung in der Ordinate wurden die steil aufsteigenden und steil abfallenden Schenkel der

schwellenkorrigierten Meßkurven zur Deckung gebracht. An der Verschiebung der Markierungspfeile des Leistungseinsatzes, sowie des Leistungsabbruches konnte in der Abszisse eine Zeitverspätung des offenen und ventilsteuerten Systems von ca. 45 Sekunden abgelesen werden (vergl. Abb. 7).

Als Ursache dieses zeitlichen Unterschiedes bei der Messung des Sauerstoffverbrauches, könnte entweder ein frühzeitiges Überschießen der Meßrezeptoren des geschlossenen Systems angenommen werden, oder ein verzögertes Ansprechen der Meßrezeptoren des offenen und ventilsteuerten Systems, oder eine Kombination beider Fehler.

Da die Messung der Sauerstoffverbrauchsvolumina durch die Systeme im Abstand von je einer Minute erfolgte und die Zeitverspätung mehr als 30 Sekunden betrug, mußte bei der rechnerischen Korrektur unserer Versuchsergebnisse der Meßwert der 1. Belastungsminute des geschlossenen Systems mit dem Wert der 2. Belastungsminute des offenen und ventilgesteuerten Systems verglichen werden.

Von dem, durch Addition der Minutenverbrauchswerte gewonnenen Gesamtsauerstoffverbrauch der Leistungsphase, mußte somit beim offenen und geschlossenen System der 1. Minutenwert der Belastung bei 100 Watt subtrahiert werden, während der 1. Minutenwert der Nachatmungsphase dazu gezählt werden mußte (Leistungsphase I).

Als andere Möglichkeit (eventuell bedingt durch ein frühzeitiges Überschießen der Meßfühler des geschlossenen

Systems) konnte der letzte Minutenwert der Voratmungsphase des geschlossenen Systems dem 1. Minutenwert der Belastung bei 100 Watt des offenen und ventilgesteuerten Systems zur Seite gestellt werden.

Bei der rechnerischen Korrektur wurde diesmal zum Gesamtsauerstoffverbrauch der Leistungsphase des geschlossenen Systems der letzte Minutenwert der Voratmungsphase dazu gezählt, der 18. Minutenwert der Belastung abgezogen (Leistungsphase II).

V. Vergleichende Übersicht (Versuchsreihe III)

1. Gesamtsauerstoffverbrauch während der Leistungsphase (Belastungsstufen 100 Watt, 125 Watt, 150 Watt)

	<u>GS</u>	:	<u>OS</u>	:	<u>VS</u>
a) ohne Korrektur	100	:	92	:	94
b) Schwellenkorrektur	100	:	94	:	93
c) Zeitverspätungskorrektur					
Leistungsphase I	100	:	98	:	97,5
Leistungsphase II	100	:	100	:	99

2. Sauerstoffverbrauch in den ersten 10 Minuten der Nachatmungsphase bis zum Abgleich der respiratorischen Sauerstoffschuld

a) ohne Korrektur	100	:	120	:	127
b) Schwellenkorrektur	100	:	126	:	125
c) Zeitverspätungskorrektur					
Leistungsphase I	100	:	94	:	93,5
Leistungsphase II	100	:	90	:	89

3. Gesamtsauerstoffverbrauch während der Leistungsphase plus Sauerstoffverbrauch in der Nachatmungsphase bis zum Abgleich der respiratorischen Sauerstoffschuld.

Dieser Wert mußte nach der Schwellenkorrektur zeitlich nicht mehr korrigiert werden, denn der verspätet registrierte und dadurch beim Gesamtsauerstoffverbrauch während der Leistungsphase fehlende letzte Minutenwert der Belastung wird fälschlicherweise der Nachatmung (Abgleich der respiratorischen Sauerstoffschuld) zugeordnet. Der durch die Zeitverspätung bedingte Fehler wird dadurch ausgeglichen.

	<u>GS</u>	:	<u>OS</u>	:	<u>VS</u>
a) ohne Korrektur	100	:	96	:	98
b) Schwellenkorrektur	100	:	98	:	97

Wie unsere vergleichende Übersicht zeigt, machte sich der Unterschied der Meßebenen der Systeme bei unseren Versuchsergebnissen nur wenig bemerkbar. Die zeitliche Differenz der Meßfühler führte aber bei der Bestimmung der Sauerstoffvolumina zu erheblichen Meßunterschieden.

Mit Hilfe unserer Korrekturmethode können diese Fehler jedoch weitgehend ausgeglichen werden. Es wird dadurch die Möglichkeit der Reproduktion und des objektiven Vergleiches ergospirometrischer Meßreihen, unabhängig von den verwendeten Systemen, geschaffen.

Voraussetzung dafür ist aber die Angabe der Absolutwerte der Belastung, die Angabe von Vor- und Nachatmungsschwellen, sowie die Bestimmung der Differenzquotientenkurve.

VI. Wie die Übersicht der Relativergebnisse der einzelnen Versuchsreihen zeigt (vergl. F, I, II, III) liegen bei den Spitzenverbrauchsmessungen in jeder 6. Minute entsprechender Belastungsstufen die Werte des offenen und ventilgesteuerten Systems in Versuchsreihe I zunächst weit über den Werten des geschlossenen Systems.

In Versuchsreihe II sind die Werte des offenen und ventilgesteuerten Systems dem geschlossenen System annähernd identisch und sinken in Versuchsreihe III weit unter die Werte des geschlossenen Systems ab.

Das liegt daran, daß willkürlich das geschlossene System als Bezugssystem gewählt wurde.

Ein Vergleich der Absolutwerte der Versuchsreihen I und III (vergl. folgende Übersicht) ergibt eindeutig, daß das ventilgesteuerte System die stabilste Meßeinrichtung besitzt.

Über den Zeitraum unserer Versuche zeigte es die geringsten Meßabweichungen. Es wäre somit als Bezugssystem am geeignetsten gewesen.

geschlossenes System

Belastung	Absolutwerte der Versuchsreihen		Abweichung in % von I
	I	III	
100 Watt	1513 ml	1713 ml	200 ml = + 13,2 %
125 Watt	1832 ml	2024 ml	192 ml = + 10,5 %
150 Watt	2082 ml	2406 ml	324 ml = + 15,6 %
	Mittelwert der Gesamtabweichung		+ 13,1 %

offenes System

Belastung	Absolutwerte der Versuchsreihen		Abweichung in % von I
	I	III	
100 Watt	1650 ml	1521 ml	129 ml = - 7,9 %
125 Watt	2099 ml	1891 ml	208 ml = - 9,9 %
150 Watt	2323 ml	2206 ml	117 ml = - 5,0 %
	Mittelwert der Gesamtabweichung		- 7,6 %

ventilgesteuertes System

Belastung	Absolutwerte der Versuchsreihen		Abweichung in % von I
	I	III	
100 Watt	1607 ml	1625 ml	18 ml = + 1,1 %
125 Watt	1763 ml	1897 ml	134 ml = + 7,6 %
150 Watt	2247 ml	2190 ml	57 ml = - 2,5 %
	Mittelwert der Gesamtabweichung		+ 2,2 %

Die mittlere Änderung zweier Versuchsreihen gleichen Charakters - durchgeführt in einem Abstand von 8 Wochen - beträgt beim ventilgesteuerten System nur 2,2 %, beim offenen System 7,6 % und beim geschlossenen System sogar 13,1 %.

Das ventilgesteuerte System besaß also zur Zeit unserer Versuche die stabilsten Meßeinrichtungen.

LITERATUR

ANTHONY, A. I. und VENRATH:

Funktionsprüfung der Atmung

(Barth-Verlag) Leipzig 1962

BARTELS, H., E. BÜCHERL, C. W. HERTZ, R. RODEWALD und M. SCHWAB:

Lungenfunktionsprüfungen

(Springer-Verlag) Berlin - Heidelberg - New York 1959

BÖHLAU, V.:

Prüfung der körperlichen Leistungsfähigkeit

(VEB G. Thieme) Leipzig 1956

BRANDT, H.-I. und H. v. BÜNAU:

Meßwertverarbeitung durch Analogrechner zur Sofortdarstellung

standardisierter Zeitmittelwerte in der Spiroergometrie

Pneumonologie 143, 61 (1970)

BUCHHEIM, W.:

Persl. Mitteilungen, Siemens A.G. Erlangen U.B. med. Abt. EEP 2

COMROE, I. H., R. E. FORSTER, A. B. DUBOIS, W. A. BRISCOE und

E. CARLSEN:

Die Lunge

(Schattauer-Verlag) Stuttgart - New York 1968

DRANSFELD, B.:

Sauerstoffaufnahme und Sauerstoffplus bei ergometrischer Leistung

In: H. Mellerowicz und G. Hansen: 1. Internationales Seminar für Ergometrie. Berlin 1965, S. 123

FLEISCH, A.:

Le Pneumotachograph

Helvet. physio. Acta 14, 363 (1956)

HANSEN, G.:

Eine synoptische elektronische Anlage für die cardio-pulmonale Funktionsdiagnostik

(SRW-Nachrichten 29, 14 (1966))

MELLEROWICZ, H.:

Ergometrie

(Urban und Schwarzenberg-Verlag) München - Berlin - Wien (1962)

MELLEROWICZ, ROSKAMM, HETTINGER, HOLLMANN, KLAUS, KÖNIG, MIES, REINDELL und STOBOY:

Vorschläge zur Standardisierung der ergometrischen Leistungsmessung

Zschr. Kreisl.-forschg. 53, 856 (1964)

OSTEN, H.:

Die atemmechanische Analyse am offenen Spirometersystem

(Klin. Wschr. 41, 606 (1963))

ROSKAMM, H., H.-G. SCHOLZ, L. SAMEK, F. LANDRY und H. NEIDEMANN:

Über die Genauigkeit der O_2 -Aufnahme und Atemminutenvolumenbestimmung in einem geschlossenen Spirometersystem

Sportarzt und Sportmedizin 21, 57 (1970)

RUTENFRANZ, I.:

Zur Frage der Vergleichbarkeit von ergometrischen Methoden zur Prüfung der körperlichen Leistungsfähigkeit

Arbeitsmedizin 2, 93 (1967)

SKRANC, O. und V. HAVEL:

Sauerstoffschuld während und nach dosierter Leistung

In: H. Mellerowicz und G. Hansen: 1. Internationales Seminar für Ergometrie. Berlin 1965, S 86

SPIEGELHAUER, I. B.:

Neue Einrichtung zur Konstanterhaltung der Sauerstoffkonzentration in Gasstoffwechselapparaten mit geschlossenem Systemkreislauf

Medizinal Markt/ Acta medicotechnica 11, 512 (1963)

ULMER, W. T., G. REICHEL und D. NOLTE:

Die Lungenfunktion

(Thieme-Verlag) Stuttgart 1970

VALENTIN, H.:

Über Prüfstände und Meßplätze der Funktion von Herz - Kreislauf und Lungen

Medizinal Markt/ Acta medicotechnica 11, 90 und 330 (1963)

VALENTIN, H., G. LEHNERT und H. I. WOITOWITZ:

Funktionsprüfungen von Herz, Kreislauf und Lungen in der Arbeitsmedizin

Arbeitsmedizin 2, 49 (1964)

Herrn Prof. Dr. J. Schmidt möchte ich für die
Überlassung des Themas und die stete Hilfe
herzlich danken.

Lebenslauf

Am 6. März 1944 wurde ich, Reiner Wagner, als 4. Kind des Bundesbahnbeamten Richard Wagner und seiner Ehefrau Helene, geborene Müller, in Untersteinach b. Kulmbach geboren.

Im September 1950 kam ich in die Volksschule in Untersteinach.

Ab Herbst 1954 besuchte ich die Oberrealschule in Kulmbach, an der ich im Juli 1963 die Reifeprüfung ablegte. Von Oktober 1963 bis September 1965 habe ich meinen Wehrdienst abgeleistet.

Im Wintersemester 1965/66 immatrikulierte ich mich an der Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg, wo ich am 8. Mai 1968 die ärztliche Vorprüfung bestand. Am 16. Juli 1971 habe ich mein Studium mit dem Medizinischen Staatsexamen abgeschlossen.

Offsetdruck-Fotodruck

J. Hogl, 8520 Erlangen Hauptstr. 109, (Nähe Martin-Luther-Platz) Tel. 22990